

Результатом критических замечаний Гетье послужило появление ряда исследований, направленных на уточнение условий принятий некоторого высказывания в качестве обоснованного, то есть, уточнение классического определения, а не отказ от него или даже его радикальный пересмотр. Современные исследования в рамках эпистемической логики (исходящие из понятий общего, имплицитного, эксплицитного знания; связанные с изучением субъективных условий обладания знанием или мнением) так или иначе продолжают опираться на классическое определение понятия знания.

Таким образом, и второй из заданных вопросов заслуживает скорее отрицательного ответа.

Исходя из всего вышеизложенного, следует отметить, что в контексте дихотомии классического/неклассического в философии науки итоговым ответом на оба вопроса, заданных относительно статуса эпистемической логики, должно являться указание на классический статус данной ветви логических исследований. Вероятно, подобный ответ несколько нарушает ожидания рассуждающего, влекомого необходимостью применения схемы «от классического к неклассическому» при рассмотрении значительного числа тем философии науки, однако, полагаю, что в случае эпистемической логики данная схема в лучшем случае может быть представлена как «от классического к классическому».

О СТРУКТУРЕ КОГНИТИВНОЙ СИСТЕМЫ АГЕНТА

А. Ю. Комаров

*магистрант 2 курса по направлению «Математика
и компьютерные науки» Института математики
и компьютерных наук Уральского федерального университета
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург*

Одним из важнейших признаков неклассического этапа развития науки является то, что принято называть принципиальной неустранимостью субъекта познания. В связи с этим возникает вопрос, можно ли, переходя к неклассической парадигме, продолжать говорить об объективности научного знания. Один из возможных ответов на этот вопрос – да, о сохранении объективности науки можно говорить при условии объективации субъекта познания. В настоящей статье делается шаг в указанном направлении, а именно, предлагается подход к пониманию познающего субъекта, как системы, состоящей из трех подсистем: сенсорной, языковой и системы логического вывода, при этом

основное внимание уделяется языковой подсистеме, являющейся субстратом агентных знаний.

Введение

Задачи агентного моделирования часто ставятся так, что агент должен принимать решения и действовать в условиях неопределенности, когда часть информации о среде по каким-то причинам недоступна. Примером может служить взаимодействие агента со средой, слишком сложной для описания. В этом случае состояние среды известно агенту не полностью, и в своем поведении он вынужден руководствоваться лишь частичным описанием происходящего. Другим примером является задача о поведении в недетерминированной среде, когда даже при полном знании всех состояний среды до текущего момента включительно достоверной информации о будущих событиях у агента быть не может. Ограничения также могут быть связаны и с конструктивными особенностями конкретных классов агентов.

Исторически подходы к решению подобных задач выработывались различными научными направлениями в значительной степени независимо, и применение тех или иных методов было обусловлено в целом спецификой исследуемых областей. Так, в теории автоматического управления изучаются методы решения задачи управления динамической системой в условиях помех и/или противодействия, причем основной целью является достижение некоторого гарантированного результата. От экспертных систем, напротив, требуются не гарантии, но лишь рекомендации, и в архитектурах таких систем, как правило, используются построения на основе нечетких знаний. Вероятностные методы находят применение в ситуационном моделировании, где в качестве базовых структур часто берутся сети Байеса, а динамика модели описывается в терминах марковских процессов (МППР).

В настоящее время в центре большинства исследований, так или иначе затрагивающих обсуждаемую проблему, стоит понятие *когнитивного агента*. В самом общем понимании это агент, способный как-то обучаться в процессе своей деятельности. К сожалению, понятие *агента* в настоящее время не имеет четкого определения. Так, в работе¹⁵⁴ утверждается, что «агентом является все, что может рассматриваться как воспринимающее свою среду с помощью датчиков и воздействующее на эту среду с помощью исполнительных механизмов». Часто встречается такое определение: «агент — это некая сущность, обладающая активностью, автономным поведением, могущая принимать решения в соответствии с некоторым набором правил,

¹⁵⁴ Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход. 2-е изд. М.: Вильямс, 2007. 1410 с.

взаимодействовать с окружением, а также самостоятельно изменять свое поведение». В работе, подробно рассматривающей современные концепции агента и агентного моделирования автор замечает, что «ситуация в ИИ [искусственном интеллекте – А. К.] начала XXI в. удивительно напоминает кризис физики, происходивший около ста лет назад <...> вновь, как и на заре ИИ, актуальными становятся формирование единых методологических основ ИИ, разработка теоретических проблем создания интеллектуальных систем новых поколений»¹⁵⁵.

В настоящей работе предлагается подход, позволяющий уточнить понятие агента и произвести формализацию. В основе подхода лежит использование метода системного анализа. На агента предлагается смотреть как на систему, в которой следует выделить подсистемы и определить связи между этими подсистемами с одной стороны, и между элементами подсистем – с другой. Основным результатом, к которому приводит такая методика, является вывод о том, что агент может быть описан как тройка подсистем:

- подсистемы взаимодействия со средой;
- языковой подсистемы, позволяющей описывать изучаемую среду;
- подсистемы логического вывода, при помощи которой агент ищет причинно-следственные связи, строит гипотезы и делает выводы.

Показано, как подсистема взаимодействия со средой («внешний интерфейс» агента), базирующаяся на трехзначной логике с третьим значением истинности, имеющим смысл «неизвестно», может быть согласована с классической булевой алгеброй формул, взятой в качестве системы логического вывода.

Язык агента как средство моделирования среды

Когнитивный агент всегда действует в некоторой среде. Мы рассматриваем класс задач, когда имеющейся у агента информации о среде недостаточно для построения стратегии оптимального поведения, и агенту требуется как-то изучить среду, собрать сведения, на основании которых он смог бы построить модель (описание) среды и своего поведения в ней.

Для того чтобы осуществлять информационный обмен со средой и строить модели, агент должен располагать знаковой системой, неким языком описания мира, соотносящимся, с одной стороны, с фактами взаимодействия агента и среды, а с другой стороны – с логическими механизмами обработки языковых форм агента, каковы бы они ни были. Из того, что язык агента отражает его взаимодействие со средой, следует, что пропозиции языковой системы агента обладают

¹⁵⁵ Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.

референцией, то есть наличествует некая *предметная область* (далее – ПО), в отношении которой агент формирует пропозиции, являющиеся высказываниями¹⁵⁶ о *положении дел*¹⁵⁷ в этой ПО¹⁵⁸. Такого рода референцию можно описать как систему запросов-ответов: в ПО может быть послан запрос в виде пропозиции x и получен ответ в виде значения истинности $\alpha(x)$ этой пропозиции.

Положим, что агент не может в полной мере верифицировать свои пропозиции. Ограничения могут быть связаны как с ресурсными тратами, так и с тем, что сама ПО по каким-то причинам может не выполнить запрос. В этом случае представляется естественным приписать пропозиции специальное значение истинности « n », понимаемое как «неизвестно». Итак, пусть пропозиции, формируемые агентом, могут принимать следующие значения истинности.

Значение $\alpha(x)$ истинности пропозиции x	Интерпретация
1	известно, что x
n	истинность x неизвестна
0	известно, что не x

Определим таблицы истинности для операций \neg , \wedge , \vee , исходя из естественной семантики для указанной интерпретации третьего значения истинности.

$\alpha(x)$	$\alpha(\neg x)$
1	0
n	n
0	1

$\alpha(x \wedge y)$	1	n	0
1	1	n	0
n	n	n	0
0	0	0	0

¹⁵⁶ Термины «высказывание» и «пропозиция» в дальнейшем употребляются как синонимы.

¹⁵⁷ Под «положением дел» мы понимаем множество обстоятельств (ситуаций), возможно пустое, возможно состоящее из одной или нескольких ситуаций, либо же состоящее из всех возможных в данной ПО ситуаций.

¹⁵⁸ Заметим, что ПО не тождественна среде. ПО возникает в результате взаимодействия между средой и агентом. Можно сказать, что ПО – это среда в аспекте ее восприятия агентом.

$\alpha(x \vee y)$	1	n	0
1	1	1	1
n	1	n	n
0	1	n	0

Именно эти таблицы со времен Лукасевича традиционно используются в большинстве систем трехзначной логики, например, при построении «сильной логики неопределенности» С. Клини и «парадоксальной логики» Г. Приста¹⁵⁹. Законы исключенного третьего и непротиворечия при формальном использовании таких таблиц выглядят следующим образом.

$\alpha(x)$	$\alpha(x \vee \neg x)$	$\alpha(\neg(x \wedge \neg x))$
1	1	1
n	n	n
0	1	1

Видно, что традиционные законы логики при формальном использовании приведенных выше таблиц теряют характер всеобщности. Так, в логике Лукасевича не выполняется ни закон непротиворечия, ни закон исключенного третьего. Мы же, в отличие от традиционного подхода, наберемся решимости и *потребуем*, чтобы эти (как и прочие) законы классической логики выполнялись всегда и вне зависимости от того, знаем ли мы значение истинности высказывания x или не знаем.

$\alpha(x)$	$\alpha(x \vee \neg x)$	$\alpha(\neg(x \wedge \neg x))$
1	1	1
n	1	1
0	1	1

Для того, чтобы сохранить как общезначимость тавтологий, так и применимость трехзначных таблиц истинности, мы предлагаем смотреть на данные тавтологии как на логические функции одного переменного (а не двух). Тогда противоречия с определением бинарных логических операций, задаваемых при помощи таблиц истинности, по-видимому, не возникнут, поскольку приоритет

¹⁵⁹ Priest G. An Introduction to Non-Classical Logic. Cambridge University Press, 2008; Карпенко А. С. Развитие многозначной логики. М.: ЛКИ, 2010.

унарных операций мы традиционно полагаем выше, нежели приоритет бинарных. Таким образом, если не абсолютизировать формальное использование таблиц истинности логических операций, то путаницы можно избежать, просто положив, что таблицы истинности для операций применимы всегда, за исключением некоторых особых случаев¹⁶⁰, когда переменные являются в действительности зависимыми.

Итак, положив:

$$(x \rightarrow y) = \neg(x \wedge \neg y),$$

$$(x \leftrightarrow y) = (x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow x),$$

формализуем таблицы истинностного соответствия для основных логических связей, оговаривая для каждой из них особые случаи.

Конъюнкция

$\alpha(x \wedge y)$	1	n	0
1	1	$\alpha(y)$	0
n	$\alpha(x)$	n	0
0	0	0	0

Особые случаи:

если $y \Leftrightarrow x$, то $\alpha(x \wedge y) = \alpha(x)$,

если $y \Leftrightarrow \neg x$, то $\alpha(x \wedge y) = 0$,

Дизъюнкция

$\alpha(x \vee y)$	1	n	0
1	1	1	1
n	1	n	$\alpha(x)$
0	1	$\alpha(y)$	0

Особые случаи:

если $y \Leftrightarrow x$, то $\alpha(x \vee y) = \alpha(x)$,

если $y \Leftrightarrow \neg x$, то $\alpha(x \vee y) = 1$,

Импликация

$\alpha(x \rightarrow y)$	1	n	0
1	1	$\alpha(x)$	0
n	1	n	$\alpha(\neg x)$
0	1	1	1

¹⁶⁰ Аналогично, например, тому, как в арифметике алгоритм деления чисел работает всегда, за исключением случая деления на нуль.

Особые случаи:

если $y \Leftrightarrow x$, то $\alpha(x \rightarrow y) = 1$,

если $y \Leftrightarrow \neg x$, то $\alpha(x \rightarrow y) = \alpha(y)$,

Эквиваленция

$\alpha(x \leftrightarrow y)$	1	n	0
1	1	$\alpha(y)$	0
n	$\alpha(x)$	n	$\alpha(\neg x)$
0	0	$\alpha(\neg y)$	1

Особые случаи:

если $y \Leftrightarrow x$, то $\alpha(x \leftrightarrow y) = 1$,

если $y \Leftrightarrow \neg x$, то $\alpha(x \leftrightarrow y) = 0$,

Определив, таким образом, применение таблиц истинности для логических операций, введем на множестве пропозиций пару отношений: отношение *референциального тождества* и отношение *референциального следования*¹⁶¹. Пропозиции x и y будем называть референциально тождественными (обозначим $x \Leftrightarrow y$), если они описывают одно и то же положение дел в ПО¹⁶². Будем говорить, что пропозиция y референциально следует из x (обозначим $x \Rightarrow y$), если всякое положение дел в ПО, описываемое пропозицией x , описывается также и пропозицией y . Отношение референциального тождества является отношением *эквивалентности*, а отношение референциального следования – отношением *квазипорядка*.

Заметим, что если $x \Rightarrow y$, то x является *конкретизацией* y , и поскольку когнитивный агент исследует возможные миры в поисках *действительного*, то его задачей является максимальной возможная конкретизация ПО¹⁶³.

Имеют место соотношения:

- если $x \Leftrightarrow y$, то $\alpha(x) = \alpha(y)$
- если $x \Rightarrow y$ и $\alpha(x) = 1$, то $\alpha(y) = 1$
- если $x \Rightarrow y$ и $\alpha(y) = 0$, то $\alpha(x) = 0$

Языком агента будем называть пару <синтаксис, семантика>, содержащую, с одной стороны, набор правил, определяющих,

¹⁶¹ Автор полагает, что такой подход является развитием принципов, выдвинутых в работе Зиновьева А. А. «Логическое следование».

¹⁶² См.: Бонгард М. М., Лосев И. С., Максимов В. В., Смирнов М. С. Формальный язык описания ситуаций, использующий понятие связи // Моделирование обучения и поведения. М.: Наука, 1975. В этой работе в аналогичном контексте говорится об отношении «равносмысленности», когда два выражения языка «описывают одно и то же множество ситуаций».

¹⁶³ С некой долей условности можно, поэтому утверждать, что более важным для агента должно быть нахождение причин, а не следствий.

каким образом строятся синтаксически правильные высказывания, а с другой стороны, набор правил для соотнесения таких высказываний с ПО.

Семантика определяется как соотнесенность формул языка агента с положением дел в изучаемой им ПО. Как было сказано выше, ПО является источником истинностных значений формируемых агентом пропозиций, то есть носителем α -функции. Кроме того, ПО определяет множество атомарных формул агентного языка (элементарных пропозиций). Таким образом, семантическая сторона языка агента выступает некой самостоятельной силой, чем-то внешним и в каком-то смысле противопоставленным синтаксической стороне. Это связано с тем, что когнитивный агент по своей природе изначально противопоставлен среде, которую он призван изучить и модели которой он строит.

Рассмотрим далее *синтаксис* агентного языка. Его формулы суть атомы и молекулы: атомами (элементарными формулами) служат допустимые в агентном языке элементарные пропозиции, являющиеся элементами некоторого алфавита элементарных пропозиций¹⁶⁴, а молекулами – формулы вида

$$\neg x \mid x \wedge y \mid x \vee y, \text{ где } x \text{ и } y - \text{формулы.}$$

Ничто другое формулой агентного языка не является¹⁶⁵.

Всякая формула выражает некоторое высказывание языка агента, при этом атомарные формулы являются выражением элементарных пропозиций, а молекулярные – сложных пропозиций.

Моделью мира агента будем называть такое подмножество множества высказываний языка агента, которое, с одной стороны, базируется на всех известных агенту фактах ПО¹⁶⁶, а, с другой стороны, согласуется с логической системой агента, то есть не порождает в ней противоречий. Если M_1 и M_2 – модели, и при этом $M_1 \Rightarrow M_2$, то модель M_1 будем называть *конкретизацией модели* M_2 , а модель M_2 – *обобщением модели* M_1 . При этом, если $a(M_1) = n$, то M_1 будем называть *предметной гипотезой* относительно M_2 .

Система логического вывода

На множестве формул агентного языка введем отношения *синтаксического тождества* и *синтаксического следования*.

Выражение «формула x синтаксически тождественна¹⁶⁷ формуле y » (обозначим это так « $x = y$ ») означает, что пропозиции,

¹⁶⁴ Конкретику этого алфавита мы здесь не рассматриваем.

¹⁶⁵ При записи формул будем использовать также скобки в обычном смысле.

¹⁶⁶ Желательно, конечно, чтобы агент умел эти факты как-то обобщать.

¹⁶⁷ Или «логически эквивалентна».

выражаемые формулами x и y , описывают одно и то же положение дел для любой ПО вне зависимости от каких-либо особенностей ПО. Это означает, что одну из формул всегда можно заменить на другую.

Выражение «формула y синтаксически следует¹⁶⁸ из формулы x » (используем запись « $x \geq y$ »)¹⁶⁹ означает, что если положение дел в ПО описывается формулой x , то оно может быть описано и формулой y , опять-таки, всегда, независимо от конкретной ПО.

Введем две специальные формулы-константы « \perp » и « \top » ($\perp = \neg\top$), значение которых можно определить соответственно как пропозиция, описывающая все, что угодно

$$x_1 \wedge \neg x_1 \wedge x_2 \wedge \neg x_2 \wedge x_3 \wedge \neg x_3 \wedge \dots^{170},$$

и пропозиция, не описывающая ничего (никакое положение дел ни в какой ПО), то есть полностью лишенная какого-либо содержания¹⁷¹. Заметим, что для любой формулы x справедливо $\perp \geq x \geq \top$.

Потребуем, чтобы в нашей системе формул с операциями \neg , \wedge , \vee и отношениями $=$ и \geq выполнялись аксиомы *булевой алгебры* (подобности построения рассмотрены, например, в работе¹⁷²).

Цепочкой формул назовем конструкцию вида $x_1 * x_2 * \dots * x_n$, где x_i – формулы, а знаком « $*$ » обозначено одно из отношений « $=$ » или « \geq ». Цепочкой формул является, например, выражение

$$x \wedge y \geq x \geq x \vee y = \neg(\neg x \wedge \neg y).$$

Тождественным преобразованием формулы x назовем любую цепочку формул, в которой хотя бы раз встречается формула x (в качестве формулы, а не подформулы) и нигде не встречается знак отношения « \geq ».

Следствием из формулы x назовем любую формулу y в цепочке формул, стоящую правее формулы x так, что между x и y встречается хотя бы один раз знак отношения « \geq ».

Гипотезой относительно формулы x назовем любую формулу y в цепочке формул, стоящую левее формулы x так, что между x и y встречается хотя бы один раз знак отношения « \geq ».

Заметим, что отношение синтаксического тождества является отношением эквивалентности, а отношение синтаксического

¹⁶⁸ Или «выводима».

¹⁶⁹ Уместность такого обозначения интуитивно ясна, поскольку, когда мы говорим « $x \wedge y$ », то мы утверждаем нечто *большее*, чем когда говорим только « x ».

¹⁷⁰ То есть, пропозиция, максимальная по содержанию и, соответственно, противоречивая, откуда $\alpha(\perp) = 0$.

¹⁷¹ Согласимся считать пустую пропозицию тождественно истинной.

¹⁷² Владимиров Д. А. Булевы алгебры. М.: Наука, 1969. 319 с.

следования – отношением частичного порядка, и что между синтаксическими и референциальными отношениями имеет место связь:

- если $x = y$, то $x \Leftrightarrow y$,
- если $x \geq y$, то $x \Rightarrow y$.

Учитывая это, отметим, что всякая *гипотеза* в нашей системе является *предметной гипотезой* по построению.

Рассмотрим пример, поясняющий разницу между референциальным и синтаксическим следованием. Пусть агент (робот-уборщик) изучает среду, в которой каждое помещение, еще не посещавшееся в этот день роботом, требует уборки. В таком случае будет справедливо референциальное следование: «помещение не посещалось» \Rightarrow «помещение требует уборки». Однако это следование не является логически необходимым. Если в помещениях появится второй уборщик, то указанное референциальное следование перестанет действовать. Это отличает его от синтаксического следования, например, от правила $x \rightarrow y \wedge x \geq y$, которое действует всегда и везде.

Заключение

Логическую систему когнитивного агента можно описать как структуру, состоящую из трех подсистем.

1. Подсистема логического вывода есть булева алгебра пропозиционных формул. Она является в некотором роде выражением того, что Лейбниц называл «истинами разума», неизменными законами логики, выполняющимися всегда и везде, во всех «возможных мирах», или, в нашей терминологии, «в любой ПО». Например, *[всегда верно, что]* $x \wedge y = y \wedge x$ или *[всегда верно, что]* $x \wedge y \geq x$.

2. Подсистема пропозиций, выражающих эмпирические правила (законы) данной конкретной ПО и формулируемых агентом посредством референциальных отношений \Leftrightarrow и \Rightarrow . Эти отношения суть обобщения опытных данных, собираемых агентом в процессе изучения среды¹⁷³. Например, «*[принимаем, что]* кошки больше мышей» или «*[принимаем, что]* существо, которое ловит мышей, называется кошкой».

3. Подсистема фактографирования, включающая механизм запросов-ответов, когда агент отправляет в ПО запрос в виде пропозиции и получает ответ в виде значения истинности $\alpha(x)$ этой пропозиции¹⁷⁴, при этом область значений α -функции может

¹⁷³ Сюда же относятся, по-видимому, соглашения об именовании.

¹⁷⁴ В других случаях ПО может и сама, без запроса агента, сформировать пропозицию вместе с ее истинностным значением и выдать агенту как факт.

содержать два или более элементов (здесь рассмотрен трехэлементный случай как наиболее естественный для когнитивного агента). Например, «*[фактически неверно, что]* вчера моя кошка поймала большую мышь» или «*[фактически неизвестно, что]* вчера по дому бегала мышь».

Предложен способ совмещения трехзначной логики подсистемы нижнего (фактографического) уровня с классической булевой алгеброй пропозиций подсистемы верхнего (синтаксического) уровня когнитивной системы агента, суть которого состоит в систематическом оговаривании особых случаев для таблиц истинностных соответствий логических связей, а также тавтологий, соответствующих аксиоматике булевой алгебры пропозициональных формул подсистемы логического вывода.

Особенностью конструируемой системы агентной логики является ее динамический характер. Это проявляется, прежде всего, в том, что не исключается возможность изменения истинностного значения пропозиции¹⁷⁵.

На первый взгляд, логическая система, выстраиваемая подобным образом, не соблюдает закон тождества. Однако, учитывая, что язык агента определен выше как пара <синтаксис, семантика>, а не один только синтаксис, можно утверждать, что закон тождества все же выполняется, поскольку, несмотря на возможность изменения истинностного значения $a(x)$ высказывания x , его *смысл*, или референциальное значение, остается при этом неизменным. Более того, можно говорить о потенциальной неизменности истинностных значений всех пропозиций, входящих в то, что можно было бы назвать *полным описанием* ПО. Этого полного описания ПО, однако, у агента изначально нет, он может только надеяться прийти к нему путем изучения неизвестной ему среды. Поэтому, учитывая, что мы строим логику именно когнитивного агента, то есть такого, знания которого, выраженные в модели среды, изменяются со временем, мы, следовательно, допускаем, что агент может выдвигать гипотезы, строить модели – и ошибаться, причем ошибочность моделей может выясняться далеко не сразу: агент может создать модель среды, которая будет удовлетворительным ее описанием, но лишь до определенного момента, когда под давлением фактов ПО он вынужден будет отказаться от вполне устраивавшей его ранее модели.

Автор полагает, что рассмотренная структура может стать основой для конструирования когнитивных систем агентов различного

¹⁷⁵ Существует, очевидно, три типа таких изменений. Изменение значения пропозиции с n на 0 или 1 можно назвать *конкретизацией* значения, с 0 или 1 на n – *потерей* значения, и наконец, переход с 0 на 1 либо с 1 на 0 – *мутацией* значения истинности.

назначения. Отдельного изучения требуют вопросы, связанные с возможностью наиболее полного раскрытия динамических свойств системы в аспекте внутреннего развития понятийного аппарата языка когнитивного агента.

ЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ КОНТРАПОЗИЦИИ ВЕКТОРНЫХ БИНАРНЫХ ОПЕРАЦИЙ «ИМПЛИКАЦИЯ» И «КОРРЕКЦИЯ»

В. О. Лобовиков

*доктор философских наук, профессор кафедры онтологии
и теории познания Департамента философии Института
социальных и политических наук Уральского федерального
университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург*

*And yet the question: What is the «proper» meaning
of «implies»? – remains peculiarly difficult.*

C. I. Lewis «A Survey of Symbolic logic»¹⁷⁶

1. Материальная импликация, следование и релевантная логика

В течение длительного времени *векторный* характер некоторых величин в теоретической физике не осознавался и в строгие определения понятий и точные формулировки законов физики не включался (в явной форме), хотя часто неявно подразумевался.

Аналогичное положение, по моему мнению, имеет место в логике вообще и в отношении бинарных операций «импликация» (материальная импликация) и «коррекция» в особенности. Коррекцией в классической символической логике иногда называется бинарная логическая операция, являющаяся математически двойственной по отношению к импликации (материальной), и в настоящей статье слово «коррекция» используется именно в таком значении. На языке символической логики определение коррекции можно дать следующим образом.

$$(C \Leftarrow B) \equiv (C \supset B)^* \equiv \neg(\neg C \supset \neg B) \equiv (\neg C \& B).$$

Здесь: C, B, A суть логические формулы; символы \Leftarrow , \supset , \neg , $\&$ обозначают логические операции «коррекция», «импликация (материальная)», «отрицание», «конъюнкция», соответственно; символ \equiv обозначает логическую равносильность формул; а A^* – формула, математически двойственная формуле A.

¹⁷⁶ Lewis C. I. A Survey of Symbolic logic. Berkeley: University of California Press, 1918. P. 325.